UDC 611.18:[597.4/.5+599]:615.099:616-002.828 **DOI: 10.58407/bht.3.25.12**

Copyright (c) 2025 Lidiia Polotnianko
Ця робота ліцензується відповідно до Creative Commons Attribution 4.0 International License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Лідія Полотнянко

ПОРІВНЯЛЬНА ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА М'ЯЗОВИХ ТКАНИН РИБ ТА ССАВЦІВ, КОНТАМІНОВАНИХ АФЛАТОКСИНОМ В1, ЗА ІНДИКАТОРНОЮ КУЛЬТУРОЮ *TETRAHYMENA PYRIFORMIS*

Lidiia Polotnianko

COMPARATIVE TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF MUSCLE TISSUES OF FISH AND MAMMALS CONTAMINATED WITH AFLATOXIN B1, USING AN INDICATOR CULTURE *TETRAHYMENA PYRIFORMIS*

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження спрямоване на порівняння ступеня токсичності м'язових тканин риб і ссавців, штучно контамінованих афлатоксином В1, із застосуванням культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis* як біоіндикатора та визначенню токсикологічних особливостей м'язової тканини риб та необхідності коригування нормативів максимально допустимого рівня (МДР) афлатоксину у рибопродуктах.

Методологія. В експерименті використовували наважки гомогенізованих м'язів риби та свинини, у які вносили афлатоксин В1 у концентраціях, що відповідали 1 та 2 МДР для м'яса. Як тест-об'єкт застосовували 3–5-денну культуру інфузорій *T. pyriformis*, яку інкубували протягом 48 годин. Оцінювання токсичності проводили за морфологічними та фізіологічними показниками тест-організмів (кількість клітин, наявність клітин у стані поділу, рухливість та характер рухів, ступінь деформації). Контрольні зразки включали м'язи без токсину та фізіологічний розчин.

Наукова новизна. Вперше здійснено пряме порівняння токсичності м'язової тканини риб і теплокровних тварин, контамінованих афлатоксином В1, на індикаторній культурі інфузорій. Встановлено, що при двократному перевищенні МДР м'язи риби не демонструють токсичності середнього ступеня, яка спостерігається у зразках свинини. Це може свідчити про відмінності у метаболічній стабільності та зв'язуванні афлатоксину білками різного амінокислотного складу.

Висновки. Результати дослідження показали, що м'язи теплокровних тварин за умов двократного перевищення МДР афлатоксину В1 є потенційно небезпечними з точки зору хронічного отруєння, тоді як аналогічні показники у рибних тканинах такої токсичності не проявляють. Це дозволяє зробити припущення, що гранично допустимий рівень афлатоксину В1 у рибопродуктах може бути вищим, ніж у м'ясі ссавців. Отримані дані підкреслюють необхідність подальших досліджень щодо регламентації вмісту мікотоксинів у рибній продукції та їх впливу на безпеку харчового ланцюга. Виявлені відмінності у прояві токсичності між рибою та ссавцями свідчать про видоспецифічні особливості взаємодії афлатоксину В1 з білками м'язової тканини, що, ймовірно, зумовлено різним амінокислотним складом та метаболічними процесами. На основі результатів можна припустити, що чинні нормативи максимально допустимого рівня афлатоксину В1 для рибної продукції є надмірно консервативними у разі їхнього прямого узгодження зі стандартами для м'яса теплокровних тварин.

Ключові слова: афлатоксин В1, токсичність, риба, ссавці, м'язові тканини, *Tetrahymena pyriformis*, харчова безпека

ABSTRACT

Purpose of the work. The study is aimed at comparing the degree of toxicity of muscle tissues of fish and mammals artificially contaminated with aflatoxin B1, using the culture of the ciliate *Tetrahymena pyriformis* as a bioindicator and determining the toxicological features of fish muscle tissue and the need to adjust the standards for the maximum permissible level (MRL) of aflatoxin in fish products.

Methodology. The experiment used samples of homogenized fish and pork muscles, into which aflatoxin B1 was added in concentrations corresponding to 1 and 2 MRLs for meat. A 3–5-day culture of the ciliate *T. pyriformis* was used as a test object, which was incubated for 48 hours. Toxicity was assessed by morphological and physiological indicators of test organisms (number of cells, presence of cells in a state of division, mobility and nature of movements, degree of deformation). Control samples included toxin-free muscles and saline.

Scientific novelty. For the first time, a direct comparison of the toxicity of muscle tissue of fish and warm-blooded animals contaminated with aflatoxin B1 was carried out on an indicator culture of ciliates. It was found that at a two-fold excess of the MDR, fish muscles do not demonstrate the moderate toxicity observed in pork samples. This may indicate differences in metabolic stability and binding of aflatoxin by proteins of different amino acid composition.

Conclusions. The results of the study showed that the muscles of warm-blooded animals at a two-fold excess of the MDR of aflatoxin B1 are potentially dangerous in terms of chronic poisoning, while similar indicators in fish tissues do not show such toxicity. This allows us to assume that the maximum permissible level of aflatoxin B1 in fish products may be higher than in mammalian meat. The data obtained highlight the need for further research on the regulation of mycotoxin content in fish products and their impact on the safety of the food chain. The outcomes of the research highlight the importance of re-evaluating existing food safety regulations with regard to mycotoxins in aquatic organisms. Considering the widespread role of fish in global nutrition, establishing scientifically justified permissible levels of aflatoxin B1 in fish products is crucial for ensuring both consumer safety and the rational use of food resources. Ultimately, such studies contribute to the broader understanding of food chain toxicology and help mitigate potential public health risks associated with hidden mycotoxin contamination. The differences in toxicity between fish and mammals indicate species-specific features of the interaction of aflatoxin B1 with muscle proteins, which is likely due to different amino acid composition and metabolic processes. Based on the results, it can be assumed that the current standards for the maximum permissible level of aflatoxin B1 for fish products are overly conservative if they are directly aligned with the standards for meat of warm-blooded animals.

Key words: aflatoxin B1, toxicity, fish, mammals, muscle tissue, *Tetrahymena pyriformis*, food safety

Вступ

Серед контамінантів харчових продуктів, що становлять значну небезпеку для здоров’я людини і тварин, особливе місце займають мікотоксини – вторинні метаболіти грибів роду Aspergillus, Fusarium та інших (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). Одним із найбільш токсичних та поширених є афлатоксин В1, відомий своїми гепатотоксичними та канцерогенними властивостями (Pickova et al., 2021). Його наявність у харчовому ланцюзі, зумовлена як прямим контамінуванням продуктів, так і опосередкованим накопиченням у тканинах тварин і риб, є важливою проблемою ветеринарної та медичної токсикології (Kovalsky et al., 2016; Koletsi et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025).

Вплив мікотоксинів на водних організмів останніми роками активно досліджується (Kovalsky et al., 2016; Koletsi et al., 2021; Gruber-Dorninger et al., 2025, Nikolaenko et al., 2023; Polotnianko & Mekhed, 2023), оскільки рибні ресурси становлять значну частину раціону людини та є стратегічно важливим об’єктом продовольчої безпеки (Gruber-Dorninger et al., 2025; Fornari et al., 2025). Доведено, що забруднення середовища та кормів токсинами спричиняє зміни у крові та метаболічних процесах коропових риб, а також впливає на накопичення токсичних сполук у м’язових тканинах (Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024). Це створює ризики не лише для здоров’я риб, але й для безпеки кінцевого споживача.

Наукова література свідчить, що токсичність мікотоксинів у м’язах риби та ссавців може мати відмінний характер, що обумовлюється специфікою білкового складу м’язів, особливостями метаболізму та швидкістю виведення шкідливих сполук (Yatsenko et al., 2017). Проте питання визначення відмінностей у ступені токсичності афлатоксину В1 при його надходженні в організм риб і теплокровних тварин досліджено недостатньо, а діючі нормативи максимально допустимих рівнів не враховують міжвидових особливостей.

Мета роботи. Дослідження спрямоване на порівняння ступеня токсичності м’язових тканин риб і ссавців, штучно контамінованих афлатоксином В1, із застосуванням культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis* як біоіндикатора.

Таким чином, актуальним завданням є проведення порівняльної токсикологічної оцінки м’язів риб і ссавців, контамінованих афлатоксином В1, що дозволить більш обґрунтовано підходити до формування санітарних норм і забезпечення безпеки харчових продуктів.

Екологічні стресори, включно з мікотоксинами, спричиняють у риб низку гематологічних та метаболічних зрушень, які розглядають як чутливі біомаркери якості середовища та токсичного навантаження (Nikolaenko et al., 2023). Показано, що адаптивні зміни показників крові коропа відбивають реакцію на забруднення, а їх

динаміка може слугувати раннім індикатором сублетальних ефектів (Nikolaenko et al., 2023). Узагальнення сучасних даних підкреслює, що мікотоксини у водоймах впливають на ріст, імунітет і енергетичний метаболізм коропових (Shkurko et al., 2024).

Проблематика переходу мікотоксинів із кормів у тканини гідробіонтів залишається у фокусі наукових дискусій. Дані про Т-2 токсин свідчать, що за тривалого надходження він може накопичуватися в м'язах коропа, створюючи потенційні ризики для споживача, навіть за відсутності гострої токсичності у самої риби (Polotnianko & Mekhed, 2023). Морфологічні дослідження на коропі демонструють структурні зміни на тлі дії Т-2, що корелюють з функціональними порушеннями та підкреслюють чутливість м'язової тканини до мікотоксичного впливу (Polotnianko & Mekhed, 2024). Паралельно реєструються біохімічні відгуки гідробіонтів, які відображають оксидативний стрес, дисбаланс ферментних систем і можливі компенсаторні механізми (Mekhed, 2024). Хоч ці праці присвячені здебільшого Т-2 токсину, отримані принципові висновки – щодо шляхів надходження, розподілу, біотрансформації та маркерів впливу – релевантні для оцінки ризиків у рибопродуктах (Polotnianko & Mekhed, 2023; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024).

Порівняння реакцій риб і ссавців на мікотоксини вказує на ймовірні відмінності у зв'язуванні токсинів білками, швидкості метаболізму та видаленні з організму, що, своєю чергою, впливає на інтегральну токсичність тканин за однакових номінальних концентрацій (Yatsenko et al., 2017). Досвід ветеринарної експертизи риби та продуктів її переробки підкреслює потребу у видоспецифічних критеріях оцінювання, а не прямій трансляції норм із м'яса ссавців (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). У цьому контексті актуальними є моделі біоіндикації на простих еукаріотах – як швидкі скринінгові підходи для порівняльної оцінки токсичності зразків різного походження перед застосуванням складніших аналітичних методів (Yatsenko et al., 2017).

Комплексна експертиза рибопродуктів рекомендує поєднувати інструментальні методи (для кількісного визначення AFB1) з біотестуванням, яке відображає інтегральний ефект матриці (наявність білків, ліпідів, продуктів автолізу) на біодоступність і токсичність мікотоксину (Yatsenko et al., 2017). Враховуючи показані зміни крові, метаболічних і морфологічних показників у коропа під дією мікотоксинів (Nikolaenko et al., 2023; Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024), такі індикатори доцільно розглядати як допоміжні маркери для оцінювання небезпеки AFB1 у рибі.

Сукупність даних свідчить, що мікотоксини, зокрема AFB1, залишаються суттєвим викликом для безпеки харчового ланцюга. Для рибопродуктів існує об'єктивна потреба у видоспецифічних нормах і підходах до контролю, які враховують фізіолого-біохімічні особливості гідробіонтів, матричні ефекти та відмінності у токсикокінетиці порівняно з м'ясом ссавців (Fotina et al., 2013; Yatsenko et al., 2017). Актуальним напрямом є інтеграція аналітичних методів із біоіндикаційними тестами та використанням гематологічних, метаболічних і морфологічних маркерів у коропових як системи раннього сповіщення про токсичне навантаження (Nikolaenko et al., 2023; Shkurko et al., 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023).

Матеріали та методи дослідження

Використані матеріали. У роботі використовували м'язову тканину риби (короп *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) та теплокровних тварин (свиня *Sus domesticus*), штучно контаміновану афлатоксином B1 у кількостях, що відповідали 1 та 2 мінімально допустимим рівням (МДР) відповідно 0,001 та 0,002 мг/кг згідно з чинними нормативами для м'яса і м'ясних продуктів (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations…, 1995). Для порівняння залучали контрольні зразки м'язів риби та свині без додавання токсину, а також розчин натрій хлориду натрію з концентрацією 0,5%, що у досліді використовувався як екстрагуючий реагент (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations…, 1995).

Ступінь токсичності визначали за допомогою індикаторної культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis*.

М'язи відділяли від жирової та сполучної тканини, гомогенізували на м'ясорубці й відбирали наважки 100 мг з кожної групи зразків. У кожний флакон із пробою додавали 2 мл 0,5 % розчину NaCl, (MV CHRDL 7.2-

1/01, 1997; Methodical recommendations…, 1995). Для моделювання контамінації до гомогенату вносили точно розраховані дози афлатоксину В1, що забезпечували необхідний рівень його концентрації (1 МДР та 2 МДР). Контрольними слугували проби м'язів без токсину та 0,5% розчин NaCl (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations…, 1995).

Методи дослідження. Для біопроби застосовували 3–5-денну культуру інфузорій *T. pyriformis*, вирощену на пептоново-дріжджовому середовищі (пептон – 2,0 г; глюкоза – 0,5 г; дріжджі сухі – 0,1 г; морська сіль – 0,1 г на 100 мл дистильованої води, pH 7,0–7,5 з наступною стерилізацією). Життєздатність культури та її густину контролювали за допомогою лічильної камери Фукса-Розенталя/Горяєва (Methodical recommendations…, 1995).

До підготовлених проб м'язів вносили по краплі суспензії інфузорій (*≈0,05 мл*, 150–250 тис. клітин/мл). Інкубацію проводили за кімнатної температури протягом 48 годин. Мікроскопічний контроль здійснювали через 24 та 48 год за допомогою світлового мікроскопу XS-5520 при збільшенні ×64 та ×160 (Methodical recommendations…, 1995).

Аналізували кількісні та якісні характеристики інфузорій:

- кількість клітин у полі зору;
- частку клітин, що перебувають у поділі;
- наявність морфологічних змін (деформацій, зміни розміру та форми);
- рухливість та характер рухів.

Ступінь токсичності класифікували згідно з критеріями методики МВ ЧРДЛ 7.2-1/01 (MV CHRDL 7.2-1/01, 1997; Methodical recommendations…, 1995):

– відсутність змін – нетоксичний зразок;

– зниження активності розмноження до 25 % без масової загибелі – слабка токсичність;

– пригнічення росту до 30 %, зміни рухів, до 10 % деформованих клітин – помірна токсичність;

– зниження чисельності на 30–50 %, до 20 % загиблих клітин – виражена токсичність;

– зменшення розмноження >50 %, масова загибель та деформації – сильна токсичність.

Деформація клітини оцінювалась за шкалою від 0 до 5 (0 – відсутність деформованих клітин, 5 – всі клітини або майже всі деформовані). Рухливість оцінювалась за шкалою від -5 до +5 (за 0 приймається рухливість інфузорій у поживному середовищі). Результати опрацьовували з використанням статистичних методів: для кожної групи досліди проводили у триразовій повторності (n=3), отримані дані обчислювали як середнє арифметичне значення ± стандартне відхилення. Узагальнені результати зводили у таблиці та здійснювали порівняльний аналіз контрольних і контамінованих зразків за показниками життєздатності культури інфузорій.

Результати дослідження та обговорення

Дослідження впливу афлатоксину В1 на м'язи риби та ссавців продемонструвало відмінності у ступені токсичності цих тканин за однакових умов контамінації. Кількісні та якісні характеристики культури *Tetrahymena pyriformis* оцінювали через 24 та 48 год після інкубації з досліджуваними зразками (таблиця 1).

Метрологічні характеристики методу аналізувались за показником «Збіжність» шляхом підрахування загальної кількості живих клітин при спостереженні за тест-контролем (у розчині хлориду натрію) (таблиця 2).

Отримані результати свідчать, що вплив афлатоксину В1 на м'язи риби та ссавців проявляється по-різному, що підтверджується реакцією культури інфузорій *Tetrahymena pyriformis*. У випадку двократного перевищення максимально допустимого рівня (МДР) афлатоксину у м'язах свині спостерігалося пригнічення розмноження клітин, зниження їх рухливості, підвищений рівень морфологічних деформацій, що відповідає середньому ступеню токсичності.

Такі результати дають підстави вважати м'язи теплокровних тварин із підвищеним вмістом афлатоксину потенційно небезпечними для споживача в аспекті розвитку хронічних інтоксикацій. Натомість у зразках м'язів риби навіть при двократному перевищенні МДР подібних змін не було зафіксовано: кількість інфузорій у полі зору не зменшувалася, клітини зберігали здатність до поділу, деформації та порушення рухливості не реєструвалися. Це може свідчити про специфічну взаємодію афлатоксину з білками та іншими компонентами м'язів, що обмежує прояв токсичного ефекту.

Таблиця 1

Тест-показники культури *Tetrahymena pyriformis* за умов оцінки токсичності м'язів

Характеристики	Контроль у NaCl 0.5%	М'язи свині			М'язи риби		
		Афлатоксин В1, мг/кг			Афлатоксин В1, мг/кг		
		0	0,001	0,002	0	0,001	0,002
24 год							
Кількість клітин, шт	10	7	15	15	10	10	15
Клітини, що діляться, шт	3	3	2	2	3	3	2
Деформація, шт	0	0	0	1	0	0	0
Рухливість, шт	0	0	0	-1	0	-1	-1
48 год							
Кількість клітин, шт	15	<5	>50	20	>20	>50	>50
Клітини, що діляться, шт	3	0	4	0	3	4	3
Деформація, шт	0	1	1	4	0	0	0
Рухливість, шт	0	-2	0	-3	0	0	0

Таблиця 2

Аналіз метрологічних характеристик експерименту

№ з/п	Показник, одиниці виміру	Значення	Нормативне значення
1	Кількість паралельних спостережень (n)	3	
2	Значення спостережень, (кількість клітин), шт:	X1 = 11 X2 = 10 X3 = 9	
3	Середнє значення (Xсер), шт	10	
4	Стандартне відхилення (Збіжність) (SD), шт $\sqrt{\frac{\sum (Xi - Xcep)^2}{n-1}}$	1	
5	Відносне стандартне відхилення (RSD), % $\text{RSD} = \frac{SD}{Xcep} * 100\%$	10	20
6	Висновок:	результат задовільний	

Цікавим спостереженням стало також те, що у контамінованих зразках м'язів, як риби, так і свині, кількість клітин інфузорій у деяких випадках була навіть більшою, ніж у контролі. Це може пояснюватися стрес-ефектом, коли низькі дози токсину стимулюють короткочасну активацію клітинних процесів. Цей стрес-ефект може бути зумовлений, зокрема, посиленням росту або репродукції інфузорій, чи активацією клітинних метаболічних шляхів. Водночас, літературні дані засвідчують, що деградація афлатоксинів спостерігається переважно у бактерій, грибів і дріжджів через бактеріальні чи грибкові ферменти – проте жодне наукове дослідження, поки що, прямо не продемонструвало, що інфузорії (прокаріотично-евкаріотні Protozoa) здатні розкладати афлатоксини або змінювати їх токсичність. Наприклад, Vanhoutte et al. (2016) підкреслюють трансформацію або інактивацію афлатоксинів мікроорганізмами, але без прямої ролі інфузорій. Водночас у зразках свинини такі ефекти супроводжувалися морфологічними змінами та зниженням рухливості, тоді як у рибних тканинах цього не відзначалося. Ще одним важливим результатом стала різниця у процесах автолізу: у контрольних зразках м'яса свині вже через 48 год спостерігалися ознаки гниття, що супроводжувалося різким зменшенням кількості інфузорій, тоді як у пробах з афлатоксином цей процес гальмувався. Аналогічна тенденція відзначалася і для рибних зразків, що може бути пов'язано з бактеріостатичною дією афлатоксину B1, яка уповільнює розвиток мікрофлори.

Зіставлення результатів дозволяє зробити висновок, що відмінності між рибою та теплокровними тваринами можуть бути обумовлені як специфікою амінокислотного складу м'язових білків, так і особливостями метаболізму, які визначають різний ступінь зв'язування та інактивації токсину. Таким чином, встановлені експериментальні факти ставлять під сумнів доцільність прямого перенесення нормативів максимально допустимого рівня афлатоксину B1 із м'яса ссавців на рибну продукцію. Дослідження останніх років та більш ранні підтверджують, що при вживанні забруднених кормів афлатоксини здатні акумулюватися в тканинах, зокрема у м'язах риби та свиней, що має безпосереднє значення для здоров'я споживачів.

Зокрема, проведено експерименти на молоді нільської тилапії (*Oreochromis niloticus*) (Fornari et al., 2023), які показали, що введення в раціон кормів з афлатоксинами негативно впливало на продуктивність риби, морфологічні показники крові та стан печінки. Хоча основна увага була зосереджена на фізіологічних і гістологічних змінах, результати також підтвердили потенційний ризик накопичення токсину в тканинах риби.

Подібні висновки підтверджуються роботами, де розглядаються випадки масових спалахів афлатоксикозу у людей через вживання контамінованих продуктів тваринного походження. Наприклад, у Кенії (Azziz-Baumgartner et al., 2005) та Малайзії (Lye et al., 1995) встановлено, що афлатоксини можуть зберігатися у м'язових тканинах тварин, які споживали заражені корми, й надалі потрапляти в харчовий ланцюг.

Дослідження на свинях підтверджують наявність мікотоксинів у м'ясі. Так, Pleadin et al. (2017), вивчаючи м'ясні продукти, виявили наявність афлатоксинів та пліснявих грибів у готовій продукції, що може бути наслідком як первинної контамінації корму, так і подальшого росту мікрофлори. Робота Sevi et al. (2016) звертає увагу на необхідність впровадження стратегій для зниження ризику потрапляння мікотоксинів у м'ясо, включно з контролем якості кормів.

Зіставлення даних із різних видів тварин дозволяє зробити висновок, що накопичення афлатоксину B1 у м'язах має універсальний характер і може становити небезпеку як у аквакультурі (Fornari et al., 2023; Mushtaq et al., 2012), так і у свинарстві (Pleadin et al., 2017). Це підкреслює важливість впровадження системного моніторингу вмісту мікотоксинів у кормах та продукції тваринного походження, особливо в країнах із підвищеним ризиком контамінації (Strosnider et al., 2006).

Для риби та рибних продуктів цілком можливим є встановлення більш високого граничного рівня цього мікотоксину без ризику виникнення токсичного ефекту для споживача. Однак остаточне підтвердження цієї гіпотези потребує подальших досліджень, зокрема із залученням біохімічних та токсикокінетичних методів аналізу, а також епідеміологічних спостережень за впливом споживання риби з різним рівнем контамінації афлатоксином на організм людини.

Висновки

Встановлено, що м’язи теплокровних тварин (свині), контаміновані афлатоксином В1 у концентрації, що перевищує максимально допустимий рівень удвічі, проявляють середній ступінь токсичності, що свідчить про потенційну небезпеку розвитку хронічного отруєння при їх споживанні.

М’язи риби за аналогічних умов експерименту не виявили токсичного ефекту: культура *Tetrahymena pyriformis* зберігала життєздатність, здатність до поділу та не зазнавала морфологічних змін.

Виявлені відмінності у прояві токсичності між рибою та ссавцями свідчать про видоспецифічні особливості взаємодії афлатоксину В1 з білками м’язової тканини, що, ймовірно, зумовлено різним амінокислотним складом та метаболічними процесами.

На основі результатів можна припустити, що чинні нормативи максимально допустимого рівня афлатоксину В1 для рибної продукції є надмірно консервативними у разі їхнього прямого узгодження зі стандартами для м’яса теплокровних тварин.

Отримані дані вказують на можливість того, що риба здатна переносити вищі концентрації афлатоксину В1 без проявів гострих чи підгострих токсикологічних ефектів, проте ця гіпотеза потребує подальшої перевірки з використанням комплексних токсикологічних, біохімічних та епідеміологічних досліджень. Результати роботи підкреслюють необхідність перегляду та уточнення регламентів щодо вмісту мікотоксинів у рибопродуктах. Враховуючи вагоме значення риби у харчуванні населення, науково обґрунтоване встановлення допустимих рівнів афлатоксину В1 є ключовим для забезпечення продовольчої безпеки та раціонального використання харчових ресурсів.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до автора / Dataset available on request from the author.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Не застосовується / Not applicable.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Azziz-Baumgartner, E., Lindblade, K., Gieseker, K., Schurz Rogers, H., Kieszak, S., Njapau, H., Schleicher, R., McCoy, L. S., Misore, L., DeCock, K., Rubin, C. & Slutsker, L. (2005). Case-control study of an acute aflatoxicosis outbreak, Kenya, 2004. *Environmental Health Perspectives*, *113*(12), 1779–1783. https://doi.org/10.1289/ehp.8384

Fotina, T. I., Berezovsky, A. V., Petrov, R. V. & Gorchanok N.V. (2013). *Veterinary examination of fish, sea mammals and invertebrates.* Vinnytsia, 120 p. (in Ukrainian).

Фотіна Т.І., Березовський А.В., Петров Р.В., Горчанок Н.В. Ветеринарно-санітарна експертиза риби, морських ссавців та безхребетних тварин. Вінниця: Нова Книга, 2013. 120 с.

Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hermatological parameters, and liver histology in juvenile *Nile tilapia* (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, *4*, 1281722. https://doi org/10.3389/fanim.2023.1281722

Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, *17*(3), 116. https://doi.org/10.3390/ toxins17030116

Hassan, F. F. (2018). Detection of aflatoxin B1 in some canned foods and reduction of toxin by ultraviolet radiation. *Iraqi Journal of Science*, *58*(4C), 2343–2349. https://doi.org/10.24996/ ijs.2017.58.4C.10

Koletsi, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species–A Review. *Toxins, 13*(6), 403. https://doi.org/10.3390/ toxins13060403

Kovalsky, P., Kos, G., Nährer, K., Schwab, C., Jenkins, T., Schatzmayr, G., Sulyok, M. & Krska, R. (2016). Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize-an extensive survey. *Toxins*, *8*, 363.

Lye, M. S., Ghazali, A. A., Mohan, A. A., Alwin, N. & Nair, R.C. (1995). An outbreak of acute hepatic encephalopathy due to severe aflatoxicosis in Malaysia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 53, 68–72.

Mekhed, O. (2024). Changes in the biochemical indicators of hydrobionts in response to the toxic effect of mycotoxin T2. *One World – One Health: I International Scientific and Practical Conference* (4–5 June 2024, Słupsk, Poland). P. 263–266.

MV CHRDL 7.2-1/01 (DSTU 3570-97, GOST 13469.7-97). (1997). *Methodical guidelines for toxicological and biological assessment of meat, meat products and milk using the protozoa Tetrahymena pyriformis (express method).* Kyiv: Institute of Veterinary Medicine of the NAAS of Ukraine. (in Ukrainian)

МВ ЧРДЛ 7.2-1/01 (ДСТУ 3570-97, ГОСТ 13469.7-97). Методичні вказівки з токсико-біологічної оцінки м’яса, м’ясних продуктів та молока з використанням інфузорій *Tetrahymena pyriformis* (експрес-метод). Утв. ГУВ Мінсільгосппрода РБ 20.10.1997. Київ: Інститут ветеринарної медицини НААН України, 1997. 25 с.

Methodical recommendations on the application of biotesting methods for assessing the quality of water in domestic drinking water supply systems (MR No. TsOS PV R 005-95). (1995). *Determination of toxicity by bioassay on protozoa Tetrahymena pyriformis*. Kyiv: State Institution “O.M. Marzeiev Institute for Hygiene and Medical Ecology of the NAMS of Ukraine”. (in Ukrainian)

Методичні рекомендації щодо застосування методів біотестування для оцінки якості води у системах господарсько-питного водопостачання (МР № ЦОС ПВ Р 005-95). Визначення токсичності біопробою на інфузоріях *Tetrahymena pyriformis*. Київ: Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», 1995. 30 с.

Mushtaq, M., Sultana, V., Anwar, F. Adnan A. & Rizvi, S. S. H. (2012). Occurrence of aflatoxins in selected processed foods from Pakistan. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(7), 8324–8337. https://doi.org/10.3390/ijms1307832

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in response to water pollution. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change.* Chernihiv: Desna-Polihraf, 99–100. (in Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Іващенко М., Іващенко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату.* Чернігів: Десна-Поліграф, 2023. С. 99–100.

Pickova, D., Ostry, V., & Malir, F. A (2021). Recent Overview of Producers and Important Dietary Sources of Aflatoxins. *Toxins, 13,* 186. https://doi.org/10.3390/toxins13030186

Pleadin, J., Zadravec, M., Brnić, D., Perković, I., Škrivanko, M. & Kovačević, D. (2017). Moulds and mycotoxins detected in the regional speciality fermented sausage "slavonski kulen" during a 1-year production period. *Food Additives & Contaminants: Part A, 34*(2), 282–290. https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1266395

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. *Natural resources of the border areas in the conditions of climate change.* Chernihiv: Desna-Polihraf, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсином. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату.* Чернігів: Десна-Поліграф, 2023. С. 105–106.

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology,* (3), 69–76. https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4

Sevi, A., Marino, R., Lorenzo, J. M., Picard, B., & Pereira, A. S. C. (2016). Strategies to improve meat quality and safety. *The Scientific World Journal*, Article ID 9523621. https://doi.org/10.1155/2016/9523621

Shkurko, M., Sadchenko, N. M., & Mekhed, O. (2024). Influence of water environment contamination with mycotoxins on ichthyological indicators and metabolic processes in carp fish. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation of Students, Graduate Students and Young Scientists* (20 November 2024, Chernihiv). Chernihiv: Nizhyn Mykola Gogol University, 89–90. (in Ukrainian).

Шкурко М., Садченко Н. М., Мехед О. Вплив забруднення водного середовища мікотоксинами на іхтіологічні показники та метаболічні процеси в організмі коропових риб. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю студентів, аспірантів і молодих учених* (20 листопада 2024 р., Чернігів). Чернігів: НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2024. С. 89–90.

Strosnider, H., Azziz-Baumgartner, E., Banziger, M., Bhat, R.V., Breiman, R., Brune, M.N., DeCock, K., Dilley, A., Groopman, J., Hell, K., Henry, S.H., Jeffers, D., Jolly, C., Jolly, P., Kibata, G.N., Lewis, L., Liu, X., Luber, G., McCoy, L., Mensah, P., Miraglia, M., Misore, A., Njapau, H., Ong, C.N., Onsongo, M.T., Page, S.W., Park, D., Patel, M., Phillips, T., Pineiro, M., Pronczuk, J., Rogers, H.S., Rubin, C., Sabino, M., Schaafsma, A., Shephard, G., Stroka, J., Wild, C., Williams, J.T., & Wilson, D. (2006). Workgroup report: Public health strategies for reducing aflatoxin exposure in developing countries. *Environmental Health Perspectives*, *114*(12), 1898–1903. https://doi.org/10.1289/ehp.9302

Vanhoutte, I., Audenaert, K., & De Gelder, L. (2016). Biodegradation of mycotoxins: Tales from known and unexplored worlds. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 561. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00561

Yatsenko, I. V., Bohatko, N. M., Bulgakova, N. V., & Biben, I. A. (2017). *Hygiene and expertise of food hydrobionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook.* Kharkiv: Disa Plus, 168 p. (in Ukrainian).

Яценко І. В., Богатко Н. М., Букалова Н. В., Фотіна Т. І., Бібен І. А. Гігієна і експертиза харчових тваринних гідробіонтів та продуктів їх переробки. Частина 1. *Гігієна і експертиза рибопромислової продукції.* Харків: Діса-Плюс, 2017. 680 с.

Received: 24.08.2025.**Accepted:** 25.09.2025.**Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Полотнянко Л. Порівняльна токсикологічна оцінка м’язових тканин риб та ссавців, контамінованих афлатоксином В1, за індикаторною культурою *Tetrahymena pyriformis. Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 122–131. DOI: https://doi.org/ 10.58407/ bht.3.25.12

Cite this article in APA style as:

Polotnianko, L. (2025). Comparative toxicological assessment of muscle tissues of fish and mammals contaminated with aflatoxin B1, using an indicator culture *Tetrahymena pyriformis. Biota. Human. Technology*, (3), 122–131. https://doi.org/10.58407/ bht.3.25.12 (in Ukrainian)

Information about the author:

Polotnianko L. [*in Ukrainian:* **Полотнянко Л.],** PhD student, email: : chreglab@vetmed.gov.ua
ORCID: 0000-0001-8665-2648
Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine